

アクセス確率分布と Web ユーザビリティの 関連の評価

山 縣 修 柳 下 孝 義

Evaluation of Web usability based on access probability distribution

Osamu Yamagata, Takayoshi Yagishita

抄 録

我々は、Web アクセスログによるアクセス度数分布がベキ法則にしたがうという知見に基づき、「Web ユーザビリティの高い Website はそのアクセス確率分布がベキ法則をなす度合いが高い」と考え、これをアンケートにより検証する。

アンケートは、60人の被験者がデジタル一眼レフカメラの3つの Website を閲覧し Web ユーザビリティを定義した10項目の質問項目について5段階の主観的評価 (MOS) を回答する手法で実施する。

検証は、3つの Website 間の Web ユーザビリティの有意差をフリードマン検定による検定およびアクセス確率分布がベキ法則をなす度合いの差分による評価を実施する。

実施の結果、我々の考えの妥当性を検証できた。

これにより、Website のリンク構造の設計指針として、「Website はそのアクセス確率分布がベキ法則をなす度合い」が有効であると考えられる。

キーワード：ページ重要度

Web ユーザビリティ

アクセス度数分布

ベキ法則

1. はじめに

Web アクセスログの分析により、Web 空間における閲覧行動がベキ法則¹⁾にしたがうとした村中らの研究¹⁾がある。Web 空間の部分空間である Web サイト（リンクで関係づけた Web ドキュメントのひと纏まりであり以下 Website と略称する）においても、その閲覧行動がベキ法則にしたがうことを推察できる。一方、ページ重要度を Web 空間のネットワーク構造から導く PageRank²⁾の研究²⁾がある。

これらの提案および研究から、我々は、顧客主導の考えに沿い、“閲覧者の行動に沿ったハイパーテキスト構造の Website は良い Website である。即ち、良好な Website の文書構造はそのページ重要度の分布がベキ法則を為す”ことを仮定すれば“ハイパーテキスト構造の設計はページ重要度の分布がベキ法則を為す具合により定量的に評価できる”と考えた。

この考えに基づいて、PageRank に代わる Website のページ重要度を“アクセス確率”として導出し、アクセス確率分布による Website のリンク構造の3次元可視化ツールを提案^{3),4)}した。

しかし、Web アクセスログは Web サーファーマⁱⁱⁱ⁾を含む不特定多数の閲覧行動の履歴であり、その行動は必ずしも「良好な Website」の閲覧を目的とはしていない。そのため、使い勝手を意味する Web ユーザビリティとアクセス確率分布の関連の評価が新たな課題である。

我々は Web ユーザビリティに基づいてアンケートを実施し、「良好な Website は Web ユーザビリティに差があり、アクセス確率分布の線形回帰の決定係数が高い」ことを検証した。

本稿では、2. でアクセス確率による Website のリンク構造の可視化、3. でアンケートの実施、4. でアンケートのデータ解析、5. で考察、最後にまとめを述べる。

2. アクセス確率による Website のリンク構造の可視化

既に提案しているアクセス確率による Website のリンク構造の可視化⁴⁾について述べる。

2.1 アクセス確率の導出

(1) PageRank とアクセス確率

既に述べた PageRank は Web 空間全体を対象としたページ重要度である。原理的に空間外との出入りは無く、Webpage 間のアクセス推移は空間内で閉じたものである。そのため、PageRank は、「閲覧者が Webpage 間のリンク構造をナビゲートしていく様子をマルコフ過程ととらえ、リンク構造をたどる遷移を確率的に無限回繰り返して漸近する定常的な確率が、対応するマルコフ行列の固有ベクトルの各成分として与えられる」ことにもとづいて得られる。

一方、アクセス確率は Web 空間の部分空間である Website におけるページ重要度で

ある。Website は Web 空間の構成要素（部分 Web 空間）であり、他の Website との出入り（リンク）が存在する点が PageRank とは異なる。

そのため、アクセス確率では“Website 外の Webpage への推移”を“マルコフ過程における出生死滅過程”と同様の事象と考え、この推移を“自 Website の Top-page への推移”と見なすことにする。これにより、アクセス確率の計算では、アクセス推移は Website 内に閉じたリンク構造を対象とすることになる。この処置は Website 外から Website 内へのアクセス推移はすべて Top-page に対して起こるという便宜的仮定も含んでいる。これにより、アクセス確率の計算は、PageRank と同様の計算法に拠ることができる。

(2) アクセス確率の導出

Website 内に閉じたネットワーク構造は閲覧を開始する Webpage を始点とするリンク構造に展開できる。そのため、この構造はリンク構造を有向グラフとみなして、同一 Website を構成する n Webpage および外部リンクのすべてを代表させた仮想的な 1 Webpage からなる $(n+1) \times (n+1)$ の正方行列（隣接行列） $M=[m_{ij}]_{j=1,n+1 i=1,n+1}$ として表現できる。この隣接行列を被参照リンクに基づくために転置し、新たな隣接行列 $M=[m_{ij}]_{i=1,n+1 j=1,n+1}$ による Webpage 間の $(n+1,n+1)$ の推移確率行列 $Q=[q_{ij}]$ を式(1)で定める。

$$[q_{ij}] = [m_{ij}] / \sum_{i=1,n+1} [m_{ij}] \quad (1)$$

なお、同じページへのリンクは無いと扱い、隣接行列の対角要素は 0 とする。また、 $[q_{ij}]$ は Webpage j から Webpage i へのリンクをたどる確率であり、そのためにその Webpage のリンク総数 $\sum_{i=1,n+1} [m_{ij}]$ で除する。

つぎに、一意に最大固有値を持つ固有ベクトルを得るため、リンク構造をたどらないブラウザの履歴による閲覧行動である Random Surfer Model による閲覧の割合を 15%⁵⁾ と見なした補正を式(2)により推移確率行列^{iv} Q に施し、新たな推移行列 $Q' = [q'_{ij}]$ を得る。

$$[q'_{ij}] = (1-0.15) * [q_{ij}] + 0.15 * [n'_{ij}] \quad (i \neq j \text{ のとき}) \quad (2)$$

$$[q'_{ij}] = 0 \quad (i=j \text{ のとき}) \quad (2)'$$

このとき、 $N'=[n'_{ij}]$ はすべての非対角要素が $1/n$ である $n+1$ 次正方行列とする。また、 Q' の対角要素はすべて 0 である。

さらに、 Q' に式(3)の補正を施し、仮想的な 1 Webpage 即ち Website 外へのアクセス推移を Top-page へのアクセス推移に読み替える。

$$[q'_{ij}] = [q'_{ij}] + [q'_{n+1,j}] \quad (3)$$

最後に、 $(n+1,n+1)$ の推移確率行列 Q' の (n,n) の部分行列 $Q''=[q''_{ij}]$ を式(4)により求める。

$$[q''_{ij}] = [q'_{ij}]_{i=1,n j=1,n} \quad (4)$$

これにより、 Q'' は同一 Website を構成する n Webpage の推移確率行列となる。

先に述べたが、「推移確率にもとづく遷移を無限回繰り返して漸近する定常的な確率

が、対応する推移確率行列の固有ベクトルの各成分として与えられる」ことにより、この推移確率行列 Q から得られる固有ベクトルの各成分が Webpage ごとのアクセス確率となる。

2.2 Website のリンク構造の可視化

我々が提案する Website のリンク構造の可視化を図 1 に示す。

この図は、2つの要素で構成する。一つは、アクセス確率を降順に並べかえた分布を両対数グラフ表現した散布図である。他は y をアクセス確率、 x を分布の順位とするべき関数 $y=a \cdot x^b$ ($a > 0$ 、 $b < 0$) を常用対数に変換した線形モデルにおいて、最小二乗法による回帰直線である。図 1 の R^2 は決定係数、slope は傾きを表わす。

以降、アクセス確率分布へのべき法則の当てはめを線形回帰と略称する。

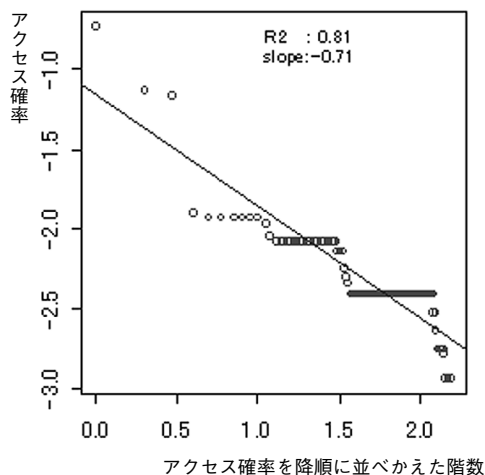


図 1 Website のリンク構造の可視化

2.3 良い Website の評価

一般に、多くの工業製品はユーザの行動あるいは顧客満足度にそったマーケット・インのデザインを指向している。

この事に着目すれば、先に述べた「Web 空間における閲覧行動がべき法則にしたがう」という経験則に基づいたデザイン、すなわち、Web ページの被引用数（ページ重要度）から導出したアクセス確率の分布がべき法則に回帰される度合いを表す決定係数 (R^2) が 1 に近づくほど、「Website のデザインは良い」と評価できる。

したがって、提案した可視化は、Website の良し悪しを評価する一つの手法と考えることができる。

3. アンケートの実施

3.1 目的

使い勝手を意味する Web ユーザビリティに基づく「良好な Website」と線形回帰の関連を評価する。

その為、ある Website の良し悪しを Web ユーザビリティに基づいてアンケートを実施し、「Web ユーザビリティの良好な Website はアクセス確率分布の線形回帰の決定係数が高い」ことを検証する。

3.2 主観的満足度による Web ユーザビリティの評価

Website の使い勝手を意味する Web ユーザビリティについて、Jakob Nielsen⁶⁾ は学習のしやすさ、効率、記憶のしやすさ、エラーおよび主観的満足度の 5 つを特性としてあげている。

我々は被験者の背景知識の影響が最も少ないと思われ、Website の閲覧環境の設定が容易な主観的満足度による Web ユーザビリティの評価を行った。

3.3 調査票

我々は、ニールセンの「お勧めのホームページデザイン」における推奨事項⁷⁾を参考に、被験者の負担や調査時間を考慮し、使い勝手を 10 項目の質問項目により評価した。調査票は各質問項目ごとに良し悪しを 5 段階の主観的評価 (MOS) を回答する。この調査票を附録 A に示す。

3.4 対象 Website の選択

アンケートは評価の偏りを防ぐために製品に対する前提知識を必要としないデジタル一眼レフカメラを対象とし、Website は検索エンジンに「デジタル一眼レフカメラ」を与え、検索エンジンが挙げた上位 3 社の Website⁸⁾ を選択した。

閲覧の目的は購入メーカーを決めるための AHP (Analytic Hierarchy Process)^{vi)} の一対比較表の作成をタスクとして製品カタログの内容を閲覧した。

3.5 実施手順

調査はコンピュータリテラシーの講義の一環として、3 クラス総計 64 名を対象に 1 クラスずつ実施した。調査時間は調査目的、タスクと調査票の記入要領の説明、Website の閲覧、タスクの実施および調査票の記入を 90 分 (1 時限) で行った。なお、各 Website の閲覧時間は少なくとも各 Website を 5 分間以上、3 Website 全体で 30 分間を目安とするように注意した。

4. アンケートのデータ解析

4.1 手順

(1) フリードマン検定

調査票データは順位尺度で対応つき多群データなので、フリードマン検定 (多重比較) を選択⁸⁾ した。プログラムは青木が R^{vii)} で記述した関数 `friedman`⁹⁾ によった。

(2) Web ユーザビリティとアクセス確率分布の線形回帰の解析

調査票のフリードマン検定により Web ユーザビリティの回答に Website 間の有意差が認められれば、アクセス確率分布の線形回帰による決定係数とアンケートの回答の代表値による 3 つの Website の順序性を評価する。

4.2 データ解析

(1) フリードマン検定

調査票に記入モレが無いことを確認した後調査票を電子化したCSVファイルを作成した。前述した関数friedmanとRで新たに記述したプログラムにより3つのWebsiteのフリードマン検定(多重比較)を行った。

前提

- ・帰無仮説 H_0 : 「母代表値に差は無い」。
- ・対立仮説 H_1 : 「母代表値に差がある」。
- ・有意水準0.05で両側検定を行う。

(2) Web ユーザビリティ (10項目) の観測値 (回答)

観測値の中央値を表1に示す。

表1 ユーザビリティ調査データの中央値

項目 サイト	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	3.0
B	4.0	4.0	3.0	3.5	3.0	4.0	3.0	3.5	4.0	3.0
C	4.0	3.0	3.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0

(3) フリードマン検定の結果

フリードマン検定の結果は $\chi^2 = 7$ 、 $df = 2$ 、 $p\text{-value} = 0.0302$ 、多重比較の結果は以下であった。Rの出力を表2に示す。なお、表1のサイトA、B、CはGroup 1、Group 2、Group 3に対応する。

表2 P-value

```

$P.value
      Group 1  Group 2  Group 3
Group 1 1.0000000 0.04393693 0.8824969
Group 2 0.04393693 1.0000000 0.1353353
Group 3 0.88249690 0.13533528 1.0000000
    
```

これより、有意水準 $0.05 > P$ 値 0.0302 なので「帰無仮説 H_0 を棄却、即ち代表値に差がある」ことを決定できた。さらに、多重比較において、Group 1とGroup 2においてのみP値が有意水準 0.05 より小さいことが確認できた。したがって「Group 1とGroup 2においてのみ代表値に差がある」ことが検定できた。

なお、参考のため、同じ調査票を転置して得られる被験者によるフリードマン検定の結果を注^{viii}で述べる。

4.3 調査データとアクセス確率分布の代表値の順序

まず、3つの Website のリンク構造を可視化し図2に示す。サイト A は199 Webpage、サイト B は138 Webpage およびサイト C は96 Webpage で構成される。

これらの図から以下のことが読み取れる。

- ・決定係数の高低に関わらず、3つの Website ともにアクセス確率が他に抜きん出て大きな 1 Webpage が存在する。
- ・さらに、決定係数の低いサイト A とサイト C は Web ページがアクセス確率の中位と低位にフラットな層をなしている。
- ・また、決定係数の高いサイト B は6 Web ページがアクセス確率の中位にフラットに分布しているが、他の Web ページは中位から低位に単調に減少している。

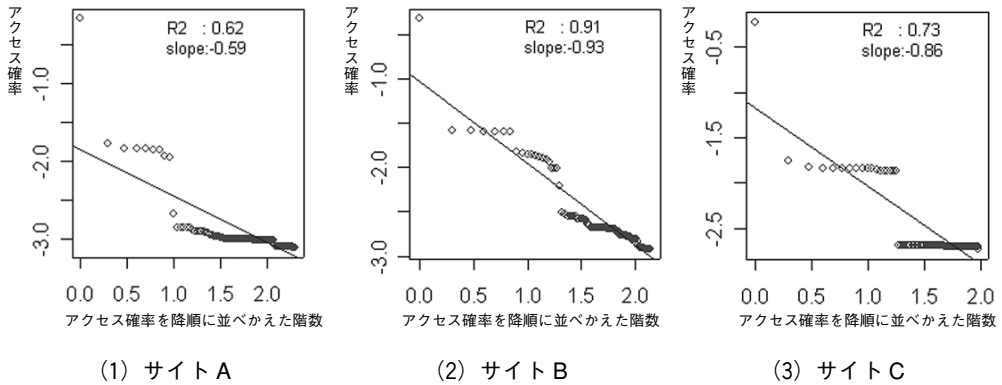


図2 3 Website のリンク構造の可視化

表3 3 Website の代表値

(1) 線形回帰の決定係数とアンケートの中央値、平均値

代表値 \ サイト	A	B	C
決定係数	0.62	0.91	0.73
中央値	3.00	3.50	3.00
平均値	3.22	3.47	3.31

(2) 線形回帰の決定係数の差分

サイト \ サイト	A	B	C
A	0.00	-0.29	-0.11
B	0.29	0.00	0.18
C	0.11	-0.18	0.00

つぎに、アクセス確率分布の線形回帰の決定係数と Web ユーザビリティの回答の代表値を表3に示す。表3 (1)は3つの Website ごとのアクセス確率分布の線形回帰による決定係数、Web ユーザビリティの回答の中央値と平均値および表3 (2)は3つの Website ごとの決定係数の差分を示す。なお、前節の Group 1、Group 2と Group 3 は表3のサイト A、サイト Bとサイト C に対応する。

表3 (1)から、3つの Website において、それらの決定係数と平均値^{ix}の大小が同じ順序方向を示していることを読み取れる。

表3 (2)から、2つの Website の決定係数の差分が $|0.18|$ 以下の時、その Web ユーザビリティの代表値に差が認められないことおよび2つの Website の決定係数の差分が $|0.29|$ 以上の時、そのユーザビリティの代表値に差が認められることを読み取れる。

これらにより、アンケートの目的で述べた「Web ユーザビリティの良好な Website はアクセス確率分布の線形回帰の決定係数が高い」ことが検証された。

5. 考察

まず、アンケートは予備知識の差が比較的小さく環境設定がし容易いと推察できる一眼レフカメラのデジタル製品を紹介した3つの Website を対象とした。Web ユーザビリティの特性の一つである主観的満足度に関わる10質問項目を5段階の主観的評価 (MOS) で回答する調査票による60件の回答を得た。この回答をを順序尺度の多群データとしてフリードマン検定し、「3つの Website には Web ユーザビリティに差がある」ことを検定できた。同時に、群間の多重比較により、Web ユーザビリティに差は1組の Website 間においてのみ認められることにより、「Web ユーザビリティに差がある」ことを検定した。

つぎに、回答の代表値とアクセス確率分布の線形回帰による決定係数の大小の順序を解析し、Web ユーザビリティの良さ悪さの数値と決定係数 (アクセス確率分布がベキ法則を為す度合い) の高さの数値が3つの Website において同じ順序方向 (位相) を示していることおよび Website 間の決定係数の差分が $|0.29|$ 以上の時は Website ユーザビリティに差が認められ、 $|0.18|$ 以下の時はユーザビリティに差が認められないことが分かった。このことにより、「Web ユーザビリティの高い Website はそのアクセス確率分布の線形回帰による決定係数も高く、Website 間の決定係数の差分が $|0.29|$ 以上の時は Website ユーザビリティに差が認められる」とする知見を得た。

今まで述べたことにより、「Web ユーザビリティの高い Website はアクセス確率分布の線形回帰の決定係数も高い」という知見により、「Web ユーザビリティの良好な Website はアクセス確率分布の線形回帰の決定係数が高い」ことを検証できたと考える。

なお、Website ユーザビリティに差が認められるアクセス確率分布の線形回帰による決定係数の差分はその下限を検証するための環境設定が困難であることが予測できる

が、我々は、直感的に、今回観測された値の上限値を超えた | 0.20 | 以上と考える。

6. まとめ

我々は、Website のリンク構造の設計を「良好な Website においてはアクセス確率分布がベキ法則を為すこと」の度合いにより定量的に評価することを研究課題としている。本稿では、「良好な Website は Web ユーザビリティに差があり、良好な Website はアクセス確率分布の線形回帰の決定係数が高い」ことを検証した。これらにより、我々の提案の妥当性が深まったと考える。

今後、ベテランが Web コンテンツを設計する過程を観察し、設計の過程でのアクセス確率分布とベキ法則の当てはまり具合の変化を解析することが課題と考える。

謝辞

この研究に際し、多面的にご指導頂いた理学博士富樫雅文氏に深謝いたします。

注

- i ベキ法則：G. K. Zipf が指摘した“英語の文章で単語の出現頻度が指数 - 1 のベキ分布にしたがう”とする経験則である。ベキ分布は、両対数変換した分布が線形をなし、正規分布のように平均値の周りに分布するような特徴の無いスケールフリーな分布である。
- ii PageRank：検索エンジン Google に実装され、「Web 空間において、Web ページからの被参照数が多いほど重要な Web ページである」と考える。
- iii Web サーファ－：明確な目標を持たない閲覧者
- iv 推移確率行列：Website のネットワーク構造（Webpage 間のリンク構造）を有向グラフとみなし行列表現し、ある Webpage から他の Webpage への推移する確率を要素とする行列である。
- v 製品カタログの Website：これらの Website は全社 Website の下の一ディレクトリ、即ち、サブサイトに位置付けられている。
- vi AHP：意思決定手法の一種で、評価の基準とする項目を主観的に一対比較して評価する手法である。
- vii R: S-Plus クロンの統計計算とグラフ化のフリーソフトであり、<http://www.r-project.org/>からダウンロードできる。
- viii 被験者によるフリードマン検定の結果：被験者によるフリードマン検定は $\chi^2 = 11.2133$ 、 $df = 2$ 、 $p\text{-value} = 0.003673$ であり、多重比較は以下であった。R の出力を表 A に示す。

表 A P-value

	Group 1	Group 2	Group 3
Group 1	1.000000000	0.003673293	0.2461863
Group 2	0.003673293	1.000000000	0.2461863
Group 3	0.246186311	0.246186311	1.0000000

被験者においても「帰無仮説 H_0 を棄却する即ち代表値に差がある」ことおよび「Group 1 と Group 2 においてのみ代表値に差がある」ことを検定できた。

ix 田中らは“運用上の「使い勝手」を考慮し、間隔尺度、順序尺度のいずれとして処理するかはいずれでも良い”¹⁰⁾としているので、調査データは順序尺度であるが、平均値で評価する。

参考文献

- 1) 村中かほり et. al (2001-07), “有限な宛先アドレス空間に対するインターネットアクセスパターンの特性分析”, 信学技報, IN 2001-56, pp 91-96.
- 2) Lawrence Page et. Al (1999), “The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web,” Stanford Digital Libraries Working Paper.
- 3) Yamagata, Nobuhiro Kataoka and Yasuaki Nakamura (Nov. 2003), “STRUCTURED DESIGN USING IMPROVED VISUALIZATION OF WEBSITE STRUCTURE,” n Proc. of 2nd IASTED Int. Conf. on Communications, Internet, & Information Technology (CIIT 2003), (2003.11. 17-19, Scottsdale, Arizona, USA), pp. 323-328.
- 4) 山縣修, 中村泰明 (2006), “アクセス確率による Web サイトのリンク構造可視化ツール,” 可視化情報学会論文集, Vol. 26, No. 6, pp. 43-50.
- 5) “Google の秘密—PageRank 徹底解説”
<http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/~baba/wais/pagerank.html> (2006年7月10日).
- 6) Jakob Nielsen (1994), Usability Engineering, Academic Press (邦訳 東京電機大学, ユーザビリティエンジニアリング原論, pp. 20-30).
- 7) Jakob Nielsen & Marie Tahir (2002), Homepage Usability: 50 Websites Deconstructed, New Riders Publishing (邦訳 風工舎, ホームページ・ユーザビリティ, エムディエヌコーポレーション, pp. 80-82).
- 8) 青木繁伸, “検定・推定の各手法の解説”,
<http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/lecture/tests.html> (2006年7月10日).
- 9) 青木繁伸, “フリードマン検定 (plus 多重比較)”,
<http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/R/friedman.html> (2006年7月10日).
- 10) 田中敏, 山際勇一郎 (1989), 教育・心理統計と実験計画法, 教育出版, p. 8

付録 A アンケート調査票

あなたがホームページをWebsiteを閲覧した感想をそのまま(主観的に評価)、
次の10項目について(5)から(1)のうちから一つ選び、該当する数字に○を記入下さい。

1. ホームページ全体が簡潔な文章・画像で、判りやすい文章・画像である。 (5)非常に良い。 (4)良い。 (3)普通である。 (2)悪い。 (1)非常に悪い。
2. ホームページ全体がテーマ(タイトル)ごとにページ分割され、斜め読みできる。 (5)非常に良い。 (4)良い。 (3)普通である。 (2)悪い。 (1)非常に悪い。
3. 各ページのテキスト・画像などの表示(ダウンロード)時間が速い。 (5)非常に速い。 (4)速い。 (3)普通である。 (2)遅い。 (1)非常に遅い。
4. ボタン、リンクラベル、画像などの配置・色使いが良く、使いやすい。 (5)非常に良い。 (4)良い。 (3)普通である。 (2)悪い。 (1)非常に悪い。
5. 閲覧した目的が達成できた。 (5)非常に良くできた。 (4)良くできた。 (3)普通であった。 (2)良くできなかった。 (1)全くできなかった。
6. 欲しい情報を得ることができた。 (5)非常に良くできた。 (4)良くできた。 (3)普通であった。 (2)良くできなかった。 (1)全くできなかった。
7. (印刷した)カタログと異なる印象をうける。 (5)非常に強い。 (4)強い。 (3)普通である。 (2)弱い。 (1)全く弱い。
8. 「今閲覧中のページ」、「今まで閲覧していたページ」、「これから閲覧するページ」の位置が判る。 (5)非常に良く判る。 (4)良く判る。 (3)普通である。 (2)良く判らない。 (1)全く判らない。
9. ページが製品情報、性能情報、機能情報あるいはデザインなどに分類されている。 (5)非常に良い。 (4)良い。 (3)普通である。 (2)悪い。 (1)全く悪い。
10. 情報が単純で、しかも最短距離(最短時間あるいは最短ページ数)で欲しい情報を閲覧できる。 (5)非常に良くできる。 (4)良くできる。 (3)普通である。 (2)良くできない。 (1)全くできない。

Abstract

It is considered that the access frequency distribution in the record of Web access log follows the power law. Based on this notion, research examining this hypothesis that Web sites which have a high degree of usability are likely to have the access probability distribution which follows the power law. In order to test this hypothesis this survey was conducted.

The participants were asked to view three websites from a product catalogue (digital single-lens reflex camera) and complete 10 questionnaires which describe website usability from various angles. Each questionnaire had 5 point scales and the participants' Mean Opinion Score (MOS) was recorded.

The Friedman test was used to examine the significant differences in usability among Web sites. Their access probability distributions were also examined by calculating the tendency to follow the power law.

The analysis demonstrated the validity of the hypothesis. In order to design effective Web site link structures, it is suggested to consolidate the level of the access probability distribution which follows the power law.

Key Words : PageRank

Web usability

Access frequency distribution

Power law